ChinaXiv合作期刊

doi:10.13866/j.azr.2019.01.11

基于干旱指数与主成分分析的干旱评价
——以锡林河流域为例①

王慧敏， 郝祥云， 朱仲元
（内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院，内蒙古 呼和浩特 010018）

摘 要： 利用锡林河流域逐月气象数据，分析了历年降水与气温的最值变化；计算了标准化降水指数(SPI)与综合气象干旱指数(CI)并用其对研究区干旱状况进行表征；利用主成分分析法对锡林河流域的干旱情况进行评价。结果表明：1981—2016 年的最高气温变化呈微弱的升高趋势，最低气温的变化趋势基本持平。最大降水量的变化趋势是减小的，各月的最小降水量基本趋于 0。CI 指数表明，36 a 中只出现过轻旱事件，且春季最多，其次为秋季，夏季发生的最少。SPI 指数表明，36 a 中出现了重涝、中涝、轻涝、重旱、中旱、轻旱事件，且事件的危害程度越高发生的概率相对越小，冬季发生的旱涝事件大多危害程度相对较高。主成分分析结果表明，研究区气象因素的第一主成分主要反映水分胁迫对干旱的影响，第二主成分主要反映日照对干旱的影响，第三主成分主要反映气温对干旱的影响；综合得分结果表明，各地的干旱情况排名为：扎鲁特 > 巴林左旗 > 翁牛特旗 > 多伦县 > 化德 > 西乌珠穆沁 > 锡林浩特 > 林西县 > 东乌珠穆沁 > 朱日和 > 阿巴嘎旗 > 二连浩特 > 苏尼特左旗。

关键词： 气象因子；干旱指数；CI；SPI；主成分分析；锡林河流域

chinaXiv:201909.00126v1

干旱是指在某一地理范围内，相对较长时间无降水或降水异常偏少的一种气候现象[1]。我国干旱频繁，受干旱影响较大，地处干旱和半干旱气候区的内蒙古地区东部及南部与半湿润的东北平原、华北平原及黄土高原接壤，是农牧交错地带，也是不同气候区的过渡带，具有较高的气候敏感性。21 世纪以来，内蒙古东部及东北部地区降水严重偏少[2]。干旱频繁发生，对畜牧业和草原生态环境所造成的经济损失越来越大[3]。

干旱评价的方式主要采用干旱指标进行评价。当前，在我国应用较为广泛的依旧为气象干旱指数[4-6]。准确地对干旱事件发生与否及程度进行判断，是开展干旱预测、评估、预警的关键[7-8]。近年来，众多学者对不同干旱监测指数的适用性及不同区域的干旱变化特征进行了研究[9-12]。针对气象干旱，2006 年国家气候中心在单项干旱指标[13-14]的基础上颁布了综合气象干旱指数(CI)，2010 年由美国学者 Vicente-Serrano 等研究提出的标准化降水指数(SPI)[15]。两种方法得到了广泛的利用，且在中国部分地区对于干旱的研究也具有较好的适用性[16-21]。尽管如此，在区域性和阶段性干旱现象频繁发生的锡林河流域[22]用此方法对旱涝状况的应用研究开展的却很少。随着决策的科学化进展，作为决策基础工作之一的综合评价手段显得越来越重要[23]。主成分分析法以其“客观性”受到许多评价工作者的青睐，被用于多种社会系统的综合评价[24]。

本文在分析了降水与气温历年变化特征的基础上，计算了 SPI 与 CI 指数，分析了两种指数表达的历年及季节下的旱涝事件变化特征，并利用主成分分析法分析了研究区以及周边地区的干旱状况，以期为研究区的旱涝灾害预警提供依据。

1 材料与研究方法

1.1 研究区概况与数据来源

锡林河属于锡林郭勒草原上一条内陆河，发源于赤峰市克什克腾旗敖仑诺尔和呼伦诺尔，流域位于 116°02′~117°12′E，43°26′~44°08′N(图 1)。全流域面积 10 542 km²，海拔高度 1 505.6 m，降水

① 收稿日期：2018-06-05； 修订日期：2018-09-11
基金项目：国家自然科学基金项目(51669018，51779116)资助
作者简介：王慧敏(1994)，女，硕士研究生，研究方向为干旱区水资源可持续利用与规划. E-mail:1710083769@qq.com
通讯作者：朱仲元. E-mail:731011410@qq.com

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201909.00126v1

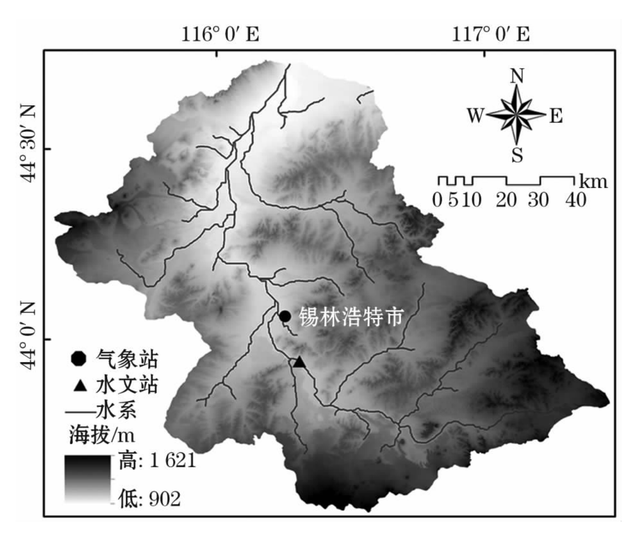


图 1 研究区位置图

Fig. 1 Geographical location of the study area

和融雪水成为该地区水资源的主要来源[25]。该区属中温带干旱、半干旱大陆性气候，基本气候特征是寒冷、风大、雨少。年平均降水量在 200 ~ 350 mm，地区与年内分布不均，大部分地区年平均气温在 0 ~ 3 ℃；年平均风速普遍在 3.5 ~ 4 m · s^{-1}，大部分地区最大风速达 24 ~ 28 m · s^{-1}（相当于 9 ~ 10 级），局部地区达 34 m · s^{-1}（相当于 12 级）；大部分地区年日照时数在 2 800 h 以上，西部和南部地区可达 3 000 h 以上，年总辐射量自东向西递增[22]。

文中所用的扎鲁特、巴林左旗、翁牛特旗、多伦县、化德、西乌珠穆沁、锡林浩特、林西县、东乌珠穆沁、朱日和、阿巴嘎旗、二连浩特和苏尼特左旗共 13 个测站的 1981—2016 年 5—10 月逐月的气象数据资料均来源于中国气象数据共享服务网（http://cdc.cma.gov.cn）。

1.2 研究方法

1.2.1 标准化降水指数 由于降水量在不同地区、不同时间内具有很大的变幅，所以，在不同时空尺度上相互比较是很难做到的，而且降水分布并不是一种正态分布，所以采用 Γ 分布来描述降水量的变化，再经过正态标准化求得 SPI 值。计算过程见参考文献〔26〕。

1.2.2 综合气象干旱指数（CI） 综合气象干旱指数（CI）[27]是利用近 30 d（相当于月尺度）和近 90 d（相当于季尺度）标准化降水指数，以及近 30 d 相对湿润度指数进行综合而得，该指标既反映时间尺度（月）和长时间尺度（季）降水量气候异常情况，又反映短时间尺度（影响农作物）水分亏欠情况。该指数适合实时气象干旱监测和历史同期气象干旱评估。综合气象干旱指数的计算见下式：

$$CI = a(Z_{30} + bZ_{90} + cM_{30})$$

式中：Z_{30}、Z_{90} 分别为近 30 d 和近 90 d 标准化降水指数 SPI；M_{30} 为近 30 d 相对湿润度指数。

近 30 d 标准化降水系数，由轻旱以上级别 Z_{30} 的平均值除以历史出现最小 Z_{30} 值，平均取 0.4；近 90 d 标准化降水系数，由轻旱以上级别 Z_{90} 的平均值除以历史出现最小 Z_{90} 值，平均取 0.4；近 30 d 相对湿润系数，由轻旱以上级别 M_{30} 的平均值除以历史出现最小 M_{30} 值，平均取 0.8。

相对湿润度指数公式为：

$$M = \frac{P - PE}{PE}$$

式中：P 为某时段的降水量，单位为 mm；PE 为某时段的可能蒸散量，单位为 mm。

可能蒸散量用 Thornthwaite 方法计算，该方法是计算可能蒸散量的经验公式，主要特点是以月平均气温为主要依据，并考虑纬度因子（日照长度）建立的经验公式，需要输入的因子少，计算方法简单，公式为：

$$PE_{m} = 16.0 \times \left(\frac{10T_i}{H}\right)^{A}$$

式中：PE_{m} 为可能蒸散量，是指月可能蒸散量，单位为 mm · 月$^{-1}$；T_i 为平均气温，单位为℃；H 为年热量指数；A 为常数。

年热量指数计算公式为：

$$H = \sum_{i=1}^{12}\left(\frac{T_i}{5}\right)^{1.514}$$

常数 A 计算公式为：

$$A = 6.75 \times 10^{-7}H^3 - 7.71 \times 10^{-5}H^2 + 1.792 \times 10^{-2}H + 0.49$$

气象干旱等级中规定 CI 的干旱等级划分如表 1。

表 1 综合气象干旱等级划分

Tab. 1 Classification of integrated meteorological drought level

等级	类型	CI 值
1	无旱	$-0.6 < CI$
2	轻旱	$-1.2 < CI \leq -0.6$
3	中旱	$-1.8 < CI \leq -1.2$
4	重旱	$-2.4 < CI \leq -1.8$
5	特旱	$CI \leq -2.4$

ChinaXiv合作期刊

1.2.3 主成分分析法 主成分分析方法是一种降维处理技术的数学变换方法,将原有的多个变量转化为少数新的变量,并尽量保存原有变量的信息[28]。其主要步骤[29]如下:根据研究需要选择主要指标和数据;进行指标数据标准化;进行指标间的相关性判定;确定主成分的数量 m;确定主成分 F_i 的表达式;计算综合主成分值并进行评价和研究。

通过分析锡林河流域气象干旱的情况,选取对干旱贡献相对较大的日照时数、日照百分率、平均气温、平均水汽压、平均相对湿度、降水量 6 个指标,建立锡林河流域干旱评价指标体系(表 2)。在干旱评价过程中,不同指标间的量纲可显著影响主成分分析的结果,因此在分析前有必要对所选指标做标准化无量纲处理(表 3)。

表 2 干旱评价指标体系

Tab. 2 Drought evaluation index system

变量	指标	单位
X_1	日照时数	h
X_2	日照百分率	%
X_3	平均气温	℃
X_4	平均水汽压	hPa
X_5	平均相对湿度	%
X_6	降水量	mm

表 3 标准化处理后的数据

Tab. 3 Standardized processed data

站点	指标值					
	日照时数(Z_1)	日照百分率(Z_2)	平均气温(Z_3)	平均水汽压(Z_4)	平均相对湿度(Z_5)	降水量(Z_6)
东乌珠穆沁	-1.744 62	-1.783 36	-0.421 28	-0.701 57	-0.300 01	-0.898 53
二连浩特	0.905 37	0.934 44	0.726	-0.996 73	-1.567 54	-1.104 41
阿巴嘎旗	0.107 89	0.069 69	-0.605 28	-0.878 67	-0.430 01	-0.938 49
苏尼特左旗	1.678 02	1.593 3	0.498 71	-0.967 21	-1.470 04	-1.163 75
朱日和	0.097 55	0.193 22	0.466 24	-0.509 72	-0.950 03	-1.201 3
化德	0.435 78	0.522 65	-1.319 62	-0.435 93	0.610 02	1.013 76
西乌珠穆沁	-0.995 76	-1.042 14	-1.341 26	-0.288 35	1.097 53	-0.112 54
扎鲁特	-1.311 23	-1.330 39	1.667 63	1.881 07	0.025	0.999 23
巴林左旗	0.186 5	0.110 87	1.223 87	1.600 67	0.512 51	0.585 04
锡林浩特	-1.041 27	-0.959 78	-0.323 87	-0.258 83	0.09	-0.064 09
林西县	0.243 39	0.193 22	-0.085 75	-0.317 86	-0.17	0.110 3
多伦县	0.414 06	0.481 47	-1.341 26	0.582 37	2.007 56	1.541 79
翁牛特旗	1.024 32	1.016 8	0.855 88	1.290 75	0.545 02	1.232 97

2 结果分析

2.1 历年干旱情况分析

2.1.1 降水、气温变化 利用 1981—2016 年的逐月平均气温绘制最值曲线(图 2),由曲线可以看出,最高气温的变化趋势是升高的,但变化不大,而最低气温的变化趋势基本持平。36 a 来的月平均气温最高值为 24.94 ℃,月平均气温最低为 -23.53 ℃。通过数据分析得知,历年的逐月平均气温的最高值都出现在夏季,其中有 77.8% 出现在 7 月,有 16.7% 出现在 8 月,只有 5.5% 出现在 6 月。说明 7 月的气温对最高气温的贡献最大。而逐月平均气温的最低值都出现在冬季,其中有 83.35% 出现在 1 月,有 13.9% 出现在 12 月,只有 2.8% 出现在 2 月,说明 1 月的气温对最低气温的贡献最大。

利用 1981—2016 年的逐月降水量数据绘制了降水最值曲线(图 2),由图 2 可以看出,最大降水量曲线的变化趋势是减小的,而各月的最小降水量基本趋于 0,历年变化不大。36 a 来,逐月降水量的最大值为 178.1 mm,最小值为 0 mm。通过数据分析得知,历年逐月降水量的最值出现的时间不稳定,最大值中有 88.9% 出现在夏季,有 8.3% 出现在春季,只有 2.8% 出现在秋季。说明夏季的降水量对最大降水量贡献最大。而最小值中有 46.0% 出现在冬季,有 32.4% 出现在春季,有 21.6% 出现在秋季。由最小降水量出现的季节来看,春、秋和冬季所占的比例相差并不大,所以对最小降水量的贡献相当。

由表 4 可以看出,4 月和 5 月气温与降水呈正相关关系,10 月没有相关关系,其余月份为负相关关系。而在夏季的 6 月、7 月和 8 月为显著负相关

chinaXiv:201909.00126v1

ChinaXiv合作期刊

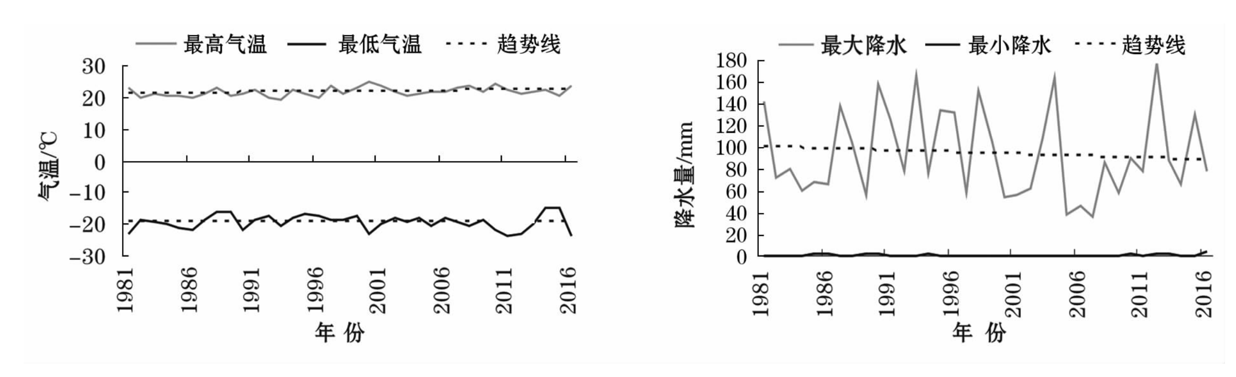


图2　气温、降水量最值曲线

Fig. 2　Curves of maximum and minimum values of temperature and precipitation

表4　气温与降水的相关性

Tab. 4　Correlation between temperature and precipitation

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
相关系数	-0.240	-0.055	-0.145	0.035	0.075	-0.582**	-0.452**	-0.669**	-0.244	0.000	-0.515**	0.075

注：**表示在0.01水平上显著相关，——表示在牧草生育期呈显著负相关关系。

关系，说明夏季降水量与气温的关系密切，气温越低则降水量越大，在这3个月中，历年的最高气温出现在7月的最多，其次为8月，出现在6月的最少。所以在历年的降水量中，最大降水量大多出现在7月。

2.1.2　干旱情况对比　从1981—2016年历年的月平均气温可以得知，除2002年和2016年外，其余年份4—10月的月平均气温为正，其他的月平均气温为负，而在2002年的9月与2016年的5月气温出现了负值。在CI中，当CI值介于-1.2～-0.6之间时表示发生轻旱事件，经过计算，只有在春季、夏季和秋季中CI不为0，这是由于冬季的气温为负值，在CI的计算中规定气温为负值时CI为0。由图3可以看出，在36 a中有超过一半的年份在春季发生了轻旱；在夏季只有一小部分年份发生了轻旱；在秋季有大约一半的年份发生轻旱。统计发现，除了2015年以外，其余各年份均发生了干旱事件，发生次数最多的是2005年，共发生了7次，发生最为频繁的时间段为1999—2008年。

由图4可以得知，SPI在历年的季节变化中，春季、秋季与冬季的变化趋势是增加的，速率分别为0.032 a^{-1}、0.012 a^{-1}和0.042 a^{-1}，说明在这3个季节中表现出偏湿润的状态，尤其是在春季与冬季，增大的趋势更加明显；而夏季的SPI变化趋势是减小的，速率为-0.014 a^{-1}，说明夏季是一个偏干旱的状态。经统计，36 a中重涝事件主要发生在2000年以后。中涝事件的发生主要集中在1986—1998年和2011—2016年。重旱事件只出现了4次，分别为1984年、1991年、1992年和1998年。中旱事件主要发生在1983—1992年和1999—2011年。轻涝与轻旱事件发生频次的年际差异不是很明显，在各个年份均有发生。由此可以看出，干湿事件的危害程度越高，发生的概率越小。中度及以上干湿事件的发生频率在春、夏、秋、冬四季分别为45.5%、33.3%、25%和77.8%。可以看出，冬季发生的旱涝事件大多都是危害程度相对较高的事件，所以在冬季做好应对旱涝灾害的措施对研究区的牧草生长、居民生活等至关重要。

由以上分析可知，两种指数在表达干旱等级时得到的结果是不同的，两种方法各有优缺点，SPI表达的干湿事件的等级比较全，而CI表达的比较单一；但是总体上CI得到的干旱事件发生频次要比SPI得到的多。所以，在今后的评价中应该根据研究目的的不同选择合适的指数。

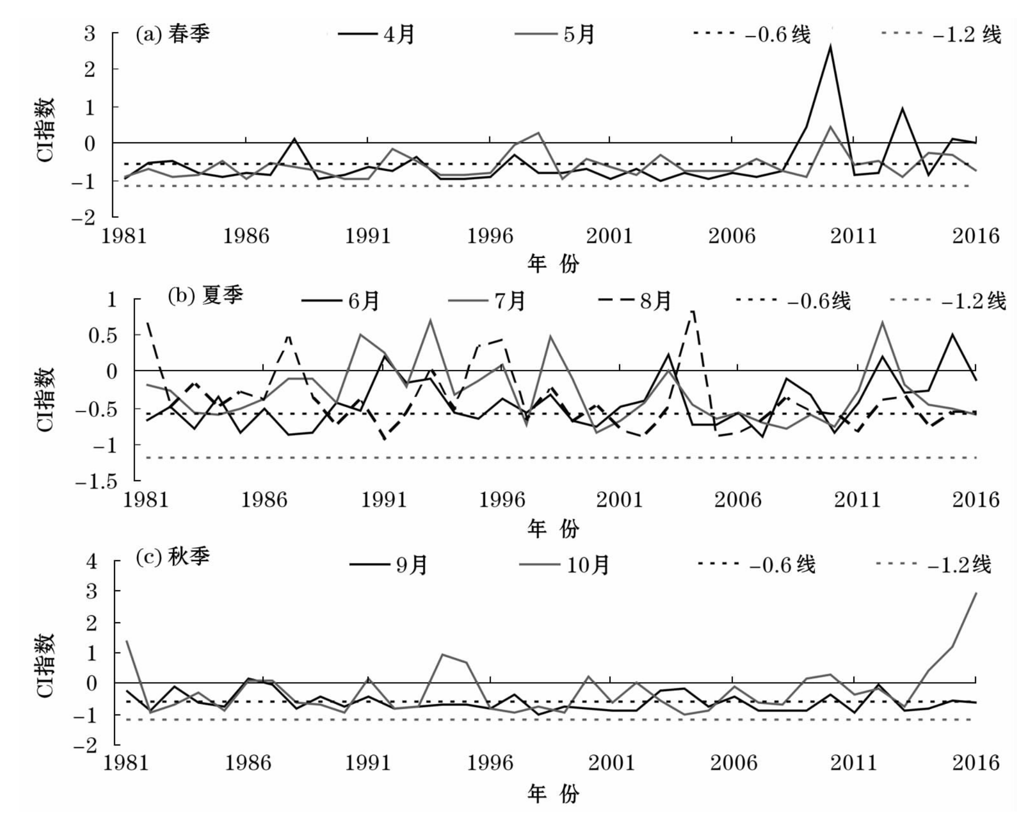
2.2　锡林河流域干旱情况评价

2.2.1　主成分特征分析　为了判断提取的主成分与原始变量间的关系，用SPSS 25.0软件计算各变量间的共同度。从计算结果可以看出，影响因素变量与原始变量之间的依赖度基本都在90%以上，说明即将提取的主成分与原始变量间相关程度较强，提取出的主成分具有一定的代表性。

对表1中的指标数据进行标准化处理，并在SPSS 25.0软件中求出其相关矩阵的特征值和各主

chinaXiv:201909.00126v1

ChinaXiv合作期刊



注:在 -0.6 与 -1.2 两条虚线之间表示发生轻旱事件。

图 3　CI 指数的季节变化

Fig. 3　Seasonal change of the CI index

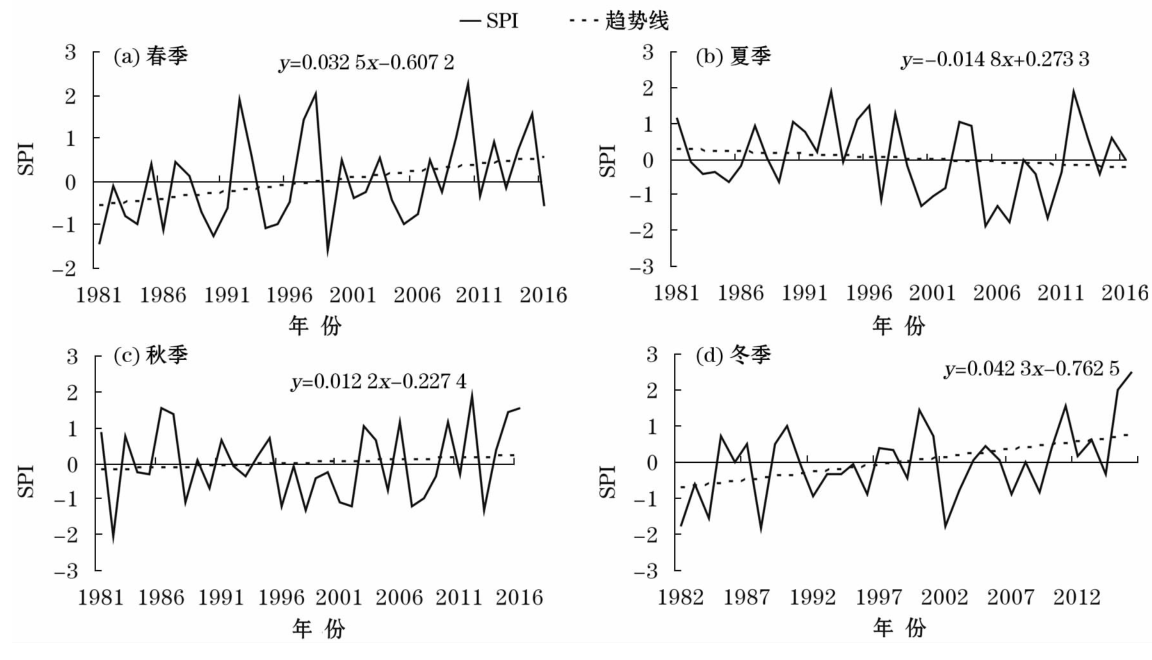


图 4　SPI 指数的季节变化

Fig. 4　Seasonal variation of the SPI index

成分贡献率(表 5),一般选取特征根大于 1 且累计方差贡献率大于 85% 的主成分,由表 5 可以看出,前 3 个主成分的特征根均是大于 1 的,且方差贡献率达到了 98.59%,仅丢失了 1.41% 的信息。所以说,前 3 个指标可以反应原始指标的绝大部分信息。因此,可以用这3个指标来代替原来的所有指标所

chinaXiv:201909.00126v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201909.00126v1

表 5 特征根与累计贡献率

Tab. 5 Characteristic roots and cumulative contribution rates

序号	初始特征值			提取载荷平方和		
	特征值	方差贡献率/%	累计贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累计贡献率/%
1	2.609	43.482	43.482	2.609	43.482	43.482
2	1.891	31.523	75.005	1.891	31.523	75.005
3	1.415	23.579	98.585	1.415	23.579	98.585
4	0.079	1.325	99.909			
5	0.004	0.064	99.973			
6	0.002	0.027	100.000			

表 6 因子载荷矩阵

Tab. 6 Factor load matrix

指标	第一主成分	第二主成分	第三主成分
日照时数	-0.584	0.768	-0.26
日照百分率	-0.578	0.766	-0.28
平均气温	-0.166	0.363	0.916
平均水汽压	0.718	0.508	0.464
平均相对湿度	0.866	0.175	-0.441
降水量	0.8	0.542	-0.142

表达的信息,达到降维的目的。前 3 个指标的特征向量分别为 2.609、1.891、1.415。

公因子与原有变量指标之间的相关程度由因子载荷值来表征,因子载荷值越高,表明该因子包含的信息量越多,所以,通过以上主成分所得到 3 个公因子。因子载荷矩阵(表 6)反映了原始变量与主成分间的相关系数。从本研究中因子载荷矩阵结果可以看出,第一主成分包括平均水汽压、平均相对湿度和降水量,其方差贡献率为 43.48%,主要反映水分胁迫对干旱状况的影响;第二主成分包括日照时数和日照百分率,其方差贡献率为 31.53%,主要反映日照对干旱状况的影响;第三主成分为平均气温,其方差贡献率为 23.58%,主要反映气温对干旱状况的影响。

2.2.2 各主成分不同要素变化分析 在第一主成分中,得分依次为:扎鲁特 > 多伦县 > 西乌珠穆沁 > 巴林左旗 > 锡林浩特 > 翁牛特旗 > 化德 > 东乌珠穆沁 > 林西县 > 阿巴嘎旗 > 朱日和 > 二连浩特 > 苏尼特左旗。由图 5 可以看出,多伦县的降水量与平均相对湿度最高,平均水汽压最高的是扎鲁特与巴林左旗,而在成分得分可知扎鲁特的得分大于多伦县。这说明平均水汽压对第一主成分的贡献是比较大的。在第二主成分中,日照时数与日照百分率的变化趋势在理论上应该是一致的,这与本人分析的结论基本一致,所以选择其中一项要素来分析即可。从图 6 可以看出,翁牛特旗的日照时数与日照百分率是最大的,在第二主成分得分中翁牛特旗的得分也是最高的,由各站点的得分与日照百分率(日照时数)的变化可以得知,日照百分率(日照时数)越高得分也越高。在第三主成分中平均气温最高的站点为扎鲁特,最低的为西乌珠穆沁、多伦和化德,而在得分中扎鲁特得分最高,西乌珠穆沁、多伦和化德得分最低,这与第二主成分的要素与得分变化相似,但是对于其他站点来说,有个别站点并不符合这种变化规律,所以第三主成分的要素变化与得分变化之间规律性并不强。

2.2.3 干旱状况评价 以 3 个主成分的特征向量为系数,建立锡林河流域干旱状况的评价模型为:$F_1 = -0.584 \times Z_1 - 0.578 \times Z_2 - 0.166 \times Z_3 + 0.718 \times Z_4 + 0.866 \times Z_5 + 0.8 \times Z_6$;$F_2 = 0.768 \times Z_1 + 0.766 \times Z_2 + 0.363 \times Z_3 + 0.508 \times Z_4 + 0.175 \times Z_5 + 0.542 \times Z_6$;$F_3 = -0.26 \times Z_1 - 0.28 \times Z_2 + 0.916 \times Z_3 + 0.464 \times Z_4 - 0.441 \times Z_5 - 0.142 \times Z_6$,由各主成分的得分计算出综合得分(表7),并对其

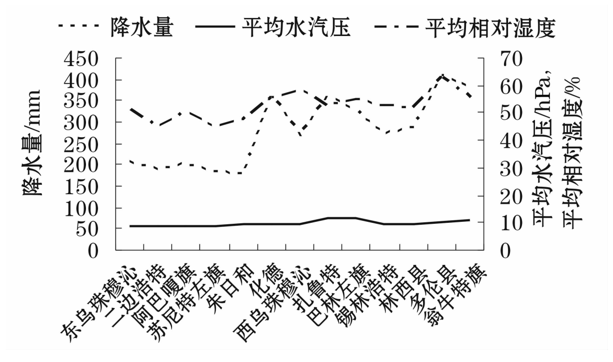


图 5 第一主成分各要素变化

Fig. 5 Change of the first principal component

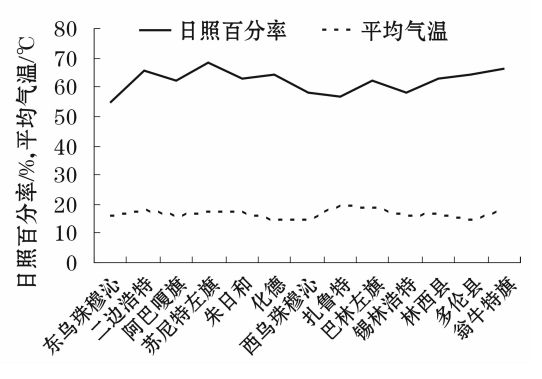


图 6 第二、三主成分要素变化

Fig. 6 Change of the second and third principal components

ChinaXiv合作期刊

表 7　干旱状况综合评价及排名

Tab. 7　Comprehensive evaluation and ranking of drought level

站点	综合得分	排名
扎鲁特	2.215 014	1
巴林左旗	1.676 981	2
翁牛特旗	1.596 542	3
多伦县	1.331 519	4
化德	0.025 804	5
西乌珠穆沁	-0.056 99	6
锡林浩特	-0.086 68	7
林西县	-0.241 75	8
东乌珠穆沁	-0.788 04	9
朱日和	-1.092 15	10
阿巴嘎旗	-1.276 94	11
二连浩特	-1.579 17	12
苏尼特左旗	-1.724 14	13

进行排名,由表 8 可以得知,各地的干旱状况为:扎鲁特 > 巴林左旗 > 翁牛特旗 > 多伦县 > 化德 > 西乌珠穆沁 > 锡林浩特 > 林西县 > 东乌珠穆沁 > 朱日和 > 阿巴嘎旗 > 二连浩特 > 苏尼特左旗。

3　结论与讨论

3.1　结论

(1) 1981—2016 年的 36 a 中,月平均气温最高值与最低值分别为 24.94 ℃、-23.53 ℃,差值达到 48.47 ℃。历年的逐月平均气温的最高值大多出现在 7 月,最低值大多出现在 1 月。最高气温变化呈微弱的升高趋势,最低气温的变化趋势基本持平。说明 36 a 中的气温总体变化并不大,保持着一个基本稳定的状态。36 a 中,逐月降水量的最大值与最小值分别为 178.1 mm、0。历年逐月降水量的最值出现的时间不稳定,最大值大多出现在夏季。而最小值出现在春、秋、冬 3 季的比率相当。说明只有在夏季降水比较充沛,而其他 3 季水分有所欠缺。最大降水量的变化呈减小趋势,而最小降水量基本趋于 0。说明 36 a 中降水量是逐年在减小的。

(2) CI 表明,春季、夏季和秋季中指数值不为 0。36 a 中只出现过轻旱事件,且春季最多,其次为秋季,夏季发生的最少。除了 2015 年外,其余年份均发生了干旱事件。SPI 指数表明,在历年的季节变化中,春季、秋季与冬季的变化趋势是增加的,速率分别为 0.032 a^{-1}、0.012 a^{-1}和 0.042 a^{-1},而夏季的 SPI 变化趋势是减小的,速率为 -0.014 a^{-1},说明在春、秋、冬 3 季是偏湿润的状态,而夏季偏干旱。36 a 中研究区发生了重涝、中涝、轻涝、重旱、中旱、轻旱事件,事件的危害程度越高发生的概率相对越小。冬季发生的旱涝事件大多是危害程度相对较高的事件。综合以上两种指数得出的结果可以看出,研究区内出现的干旱事件比较频繁,且旱情的程度也不尽相同,夏季干旱严重。结合降水与气温的分析可知,夏季降水逐年减少而气温却有微弱升高趋势,这与夏季旱情密不可分。而冬季的旱涝危害较高,所以冬季要做好防洪防涝措施。

(3) 主成分分析结果表明,研究区内气象因素的第一主成分包括平均水汽压、平均相对湿度和降水量,方差贡献率为 43.48%;第二主成分包括日照时数和日照百分率,其方差贡献率为 31.53%;第三主成分为平均气温,其方差贡献率为 23.58%。由综合得分结果可知,各地的干旱状况为:扎鲁特 > 巴林左旗 > 翁牛特旗 > 多伦县 > 化德 > 西乌珠穆沁 > 锡林浩特 > 林西县 > 东乌珠穆沁 > 朱日和 > 阿巴嘎旗 > 二连浩特 > 苏尼特左旗。

3.2　讨论

从 CI 分析表明,总体上来看,虽然研究区内没有出现过中度及以上旱情事件,但是轻旱事件的出现频次并不少。这与吴哲红等[30]和刘可群等[31]研究得出的规律基本一致。但是,在指数等级上略有不同,造成这种不同的原因可能与南北方气候差异有关,南方与北方的降水和气温差异导致 CI 得到的结果不尽相同,其次南北方人类活动的差异也可能是导致结果不同的一个重要因素。

参考文献(References):

[1] 王文静,延军平,刘永林,等. 基于综合气象干旱指数的海河流域干旱特征分析[J]. 干旱区地理,2016,39(2):336-344. [Wang Wenjing,Yan Junping,Liu Yonglin,et al. Characteristics of droughts in the Haihe Basin based on meteorological drought composite index[J]. Arid Land Geography,2016,39(2):336-344.]

[2] 高涛,肖苏君,乌兰,等. 近 47 年(1961—2007 年)内蒙古地区降水和气温的时空变化特征[J]. 内蒙古气象,2009(1):3-7. [Gao Tao,Xiao Sujun,Wu Lan,et al. Temporal-spatial characteristics of precipitation and temperaturein Inner Mongolia for the last 47 years (1961-2007)[J]. Meteorology Journal of Inner Mongolia,2009(1):3-7.]

[3] 李兴华,陈素华. 内蒙古草地干旱损失评估方法研究[J]. 草业科学,2012,29(7):1 033-1 038. [Li Xinghua,Chen Suhua. Assessment method of grassland loss from drought damage in Inner Mongolia[J]. Pratacultural Science,2012,29(7):1 033 -

chinaXiv:201909.00126v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201909.00126v1

1 038.]
[4] 王文静,延军平,刘永林. 新疆旱涝气候的南北差异性分析[J]. 干旱区研究,2016,33(3):609-618.[Wang Wenjing,Yan Junping,Liu Yonglin. Difference of drought/flood disasters in Xinjiang[J]. Arid Zone Research,2016,33(3):609-618.]
[5] 赵海燕,高歌,张培群,等. 综合气象干旱指数修正及在西南地区的适用性[J]. 应用气象学报,2011,22(6):698-705.[Zhao Haiyan,Gao Ge,Zhang Peiqun,et al. The modification of meteorological drought composite index and its application in Southwest China[J]. Journal of Applied Meteorological Science,2011,22(6):698-705.]
[6] 张调风,张勃,王有恒,等. 基于综合气象干旱指数的石羊河流域近50年气象干旱特征分析[J]. 生态学报,2013,33(3):975-984.[Zhang Tiaofeng,Zhang Bo,Wang Youheng,et al. Drought characteristics in the shiyang river basin during the recent 50 years based on a composite index[J]. Acta Ecologica Sinica,2013,33(3):975-984.]
[7] 包云轩,孟翠丽,申双和,等. 基于CI指数的江苏省近50年干旱的时空分布规律[J]. 地理学报,2011,66(5):599-608.[Bao Yunxuan,Meng Cuili,Shen Shuanghe,et al. Temporal and spatial patterns of droughts for recent 50 yearsin Jiangsu based on meteorological drought composite index[J]. Acta Geographica Sinica,2011,66(5):599-608.]
[8] 史继清,甘臣龙,扎西顿珠,等. 基于CI指数的河北省干旱特征分析及R/S分析[J]. 安徽农业学报,2015,43(2):221-227.[Shi Jiqing,Gan Chenlong,Zha Xidunzhu,et al. Analysis of drought characteristics of Hebei Province and R/S based on the CI index[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2015,43(2):221-227.]
[9] 高炜,安如,王喆. 基于微波遥感技术的干旱监测指数及其应用研究——以三江源区为例[J]. 干旱区研究,2017,34(3):541-550.[Gao Wei,An Ru,Wang Zhe. Droughtindex and its application based on microwave remote sensing technology: A case study in the Three-River Headwaters Region[J]. Arid Zone Research,2017,34(3):541-550.]
[10] 马明卫,宋松柏. 渭河流域干旱指标空间分布研究[J]. 干旱区研究,2012,29(4):681-691.[Ma Mingwei,Song Songbai. Study on spatial distribution of drought indicesin the Weihe River Basin[J]. Arid Zone Research,2012,29(4):681-691.]
[11] 马海娇,严登华,翁白莎,等. 典型干旱指数在滦河流域的适用性评价[J]. 干旱区研究,2013,30(4):728-734.[Ma Haijiao,Yan Denghua,Weng Baisha,et al. Applicability of typical drought indexes in the Luanhe River Basin[J]. Arid Zone Research,2013,30(4):728-734.]
[12] 王素萍,王劲松,张强,等. 几种干旱指标对西南和华南区域月尺度干旱监测的适用性评价[J]. 高原气象,2015,34(6):1 616-1 624.[Wang Suping,Wang Jinsong,Zhang Qiang,et al. Applicability evaluation of drought indices in monthly scale drought monitoring in Southwestern and Southern China[J]. Plateau Meteorology,2015,34(6):1 616-1 624.]
[13] 李柏贞,周广胜. 干旱指标研究进展[J]. 生态学报,2014,34(5):1 043-1 052.[Li Baizhen,Zhou Guangsheng. Advance in the study on drought index[J]. Acta Ecologica Sinica,2014,34(5):1 043-1 052.]
[14] 杨金虎,张强,王劲松,等. 近60 a来中国西南春季持续性干旱异常特征分析[J]. 干旱区地理,2015,38(2):215-222.[Yang Jinhu,Zhang Qiang,Wang Jinsong,et al. Spring persistent droughts anomaly characteristics ofover the Southwest China in recent 60 year[J]. Arid Land Geography,2015,38(2):215-222.]
[15] 孙玥. 标准化降水指数在辽西地区干旱评价中的运用[J]. 水利规划与设计,2016(4):64-65,74.[Sun Yue. Application of standardized precipitation index in drought evaluation in Western Liaoning[J]. Water Resources Planning and Design,2016(4):64-65,74.]
[16] 历超,董洋,阙伟伦,等. 基于CI指数的黑龙江干旱分析及其应用[J]. 现代化农业,2017(11):43-45.[Li Chao,Dong Yang,Que Weilun,et al. Drought analysis and application of Heilongjiang River based on CI index[J]. Modernizing Agriculture,2017(11):43-45.]
[17] 翟禄新,冯起. 基于SPI的西北地区气候干湿变化[J]. 自然资源学报,2011,26(5):847-857.[Zhai Luxin,Feng Qi. Dryness/wetness climate variation based on standardize precipitation index in Northwest China[J]. Journal of Natural Resources,2011,26(5):847-857.]
[18] 熊光洁. 近50年中国西南地区不同时间尺度干旱气候变化特征及成因研究[D]. 兰州:兰州大学,2013.[Xi Guangjie. Studies on Characteristics and Causes of Drought Climate Change with Different Time Scales in Southwest China in the Past 50 Years[D]. Lanzhou:Lanzhou University,2013.]
[19] 闫峰,王艳娇,吴波,等. 近50年河北省干旱时空分布特征[J]. 地理研究,2010,29(3):423-430.[Yan Feng,Wang Yanjiao,Wu Bo,et al. Spatial and temporal distributions of droughtin Hebei province over the past 50 years[J]. Geographical Research,2010,29(3):423-430.]
[20] 尹文杰,张梦琳,胡立堂. 柴达木盆地干旱时空变化特征[J]. 干旱区研究,2018,35(2):387-394.[Yin Wenjie,Zhang Menglin,Hu Litang. Spatiotemporalvariation of drought in the Qaidam Basin[J]. Arid Zone Research,2018,35(2):387-394.]
[21] 李红梅,李林,李万志. 气象干旱监测指标在青海高原的适用性分析[J]. 干旱区研究,2018,35(1):114-121.[Li Hongmei,Li Lin,Li Wanzhi. Applicability of meteorological drought indices in drought monitoring in the Qinghai Plateau[J]. Arid Zone Research,2018,35(1):114-121.]
[22] 张巧凤. 锡林郭勒草原干旱灾害监测与风险评估研究[D]. 北京:中国农业科学院,2016.[Zhang Qiaofeng. Study on Drought Disaster Monitoring and Risk Assessment in Xilingol Grassland[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences,2016.]
[23] 赵希男. 主成份分析法评价功能浅析[J]. 系统工程,1995,13(2):24-27.[Zhao Xinan. Analysisofthe evaluation effectonthe principal components analysis method[J]. Systems Engineering,1995,13(2):24-27.]
[24] 黄明儒,汤兵勇,任杰. 综合评价的多元分析方法[J]. 数理统计与管理,1991(1):27-31.[Huang Mingru,Tang Bingyong,Ren Jie. Multivariate analysis method for comprehensive evaluation[J]. Journal of Applied Statistics and Management,1991(1):27-31.]
[25] 段超宇. 基于SWAT模型的锡林河流域融雪径流模拟研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.[Duan Chaoyu. SWAT-

ChinaXiv合作期刊

Based Modeling on Snowmelt-Runoff in XilinheBasin〔D〕. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University,2014.〕

〔26〕 袁文平,周广胜. 标准化降水指标与 Z 指数在我国应用的对比分析〔J〕. 植物生态学报,2004,28(4):523－529.〔Yuan Wenping,Zhou Guangsheng. Comparison between standard precipitation index and Z index in China〔J〕. Chinese Journal of Plant Ecology, 2004,28(4):523－529.〕

〔27〕 张强,邹旭凯,肖风劲,等. GB/T20481－2006 气象干旱等级〔S〕. 北京:中国标准出版社,2006:1－17.〔Zhang Qiang,Zou Xukai,Xiao Fengjin,et al. GB/T20481－2006 Classification of Meteorological Drought〔S〕. Beijing: Standards Press of China, 2006:1－17.〕

〔28〕 李伟. 主成分分析法在青浦河道水质评价中的应用〔J〕. 环境与发展,2017,31(5):49,51.〔Li Wei. Application of principal component analysis in water quality evaluation of Qingpu River〔J〕. Environment and Development,2017,31(5):49,51.〕

〔29〕 吉祝美,方里,张俊,等. 主成分分析法在 SPSS 软件中的操作及在河流水质评价中的应用〔J〕. 环境研究与监测,2012,25(12):68－73.〔Ji Zhumei,Fang Li,Zhang Jun,et al. Operation of principal component analysis in SPSS software and its application in river water quality evaluation〔J〕. Environmental Research and Monitoring,2012,25(12):68－73.〕

〔30〕 吴哲红,詹沛刚,陈贞宏,等. 基于 CI 指数和 K 指数的近 40 a 贵州安顺区域干旱演变特征〔J〕. 冰川冻土,2013,35(4):1 044－1 055.〔Wu Zhehong,Zhan Peigang,Chen Zhenhong,et al. The nearly 40-year drought evolution characteristics of Anshun-municipality assessed by CI and K drought indexes〔J〕. Journal of Glaciology and Geocryology,2013,35(4):1 044－1 055.〕

〔31〕 刘可群,李仁东,刘志雄,等. 基于 CI 指数的湖北干旱及其变化特征分析〔J〕. 长江流域资源与环境,2012,21(10):1 274－1 280.〔Liu Kequn,Li Rendong,Liu Zhixiong,et al. Characteristics and variations of drought in Hubei based on comprehensive meteorological drought index〔J〕. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2012,21(10):1 274－1 280.〕

chinaXiv:201909.00126v1

Drought Assessment Based on Drought Index and Principal Component Analysis: A Cased Study in the Xilin River Basin

WANG Hui-min, HAO Xiang-yun, ZHU Zhong-yuan

(*College of Water Conservancy and Civil Engineering*, *Inner Mongolia Agricultural University*, *Hohhot* 010018, *Inner Mongolia*, *China*)

Abstract: The monthly meteorological data of the Xilin River Basin were used to analyze the annual variation of precipitation and temperature in the study area. The standardized precipitation index (SPI) and integrated meteorological drought index (CI) were calculated and used to characterize the drought conditions in the study area. The principal component analysis was applied to evaluate the drought conditions in the Xilin River Basin. The results showed that the maximum temperature increased slightly in 36 years, and the minimum one did not change substantially. The change trend of the maximum precipitation was reduced, and the monthly minimum precipitation trended basically to zero. The CI index showed that only some light drought events occurred in 36 years, and they were the highest in spring, then in fall, and they were the lowest in summer. The SPI index showed that the drought levels and flood events were different in 36 years, and the higher the disaster degree was, the lower the occurrence probability would be. In winter, the disaster level of drought and flood events was relatively high. The results of principal component analysis showed that the first principal component of meteorological factors in the study area reflected mainly the impact of water stress on drought conditions, the second principal component reflected mainly the effect of sunshine on drought conditions, and the third principal component reflected mainly the effect of temperature on drought conditions. The results of comprehensive scores indicated that the drought in various places was in an order of Zarut > Bahrain Left Banner > Wengniute Banner > Duolun County > Huade > West Wuzhumuqin > Xilinhot > Linxi County > East Wuzhumuqin > Zhurihe > Abaga Banner > Erlianhaote > Sunit Left Banner.

Key words: meteorological factor; drought index; CI; SPI; principal component analysis; Xilin River Basin